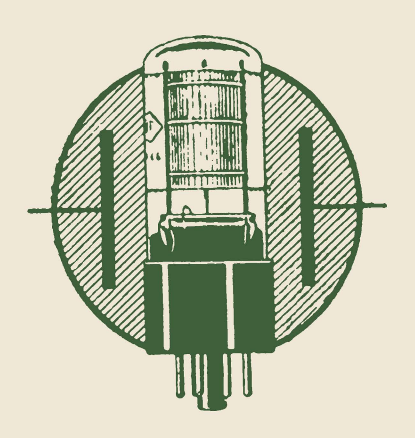


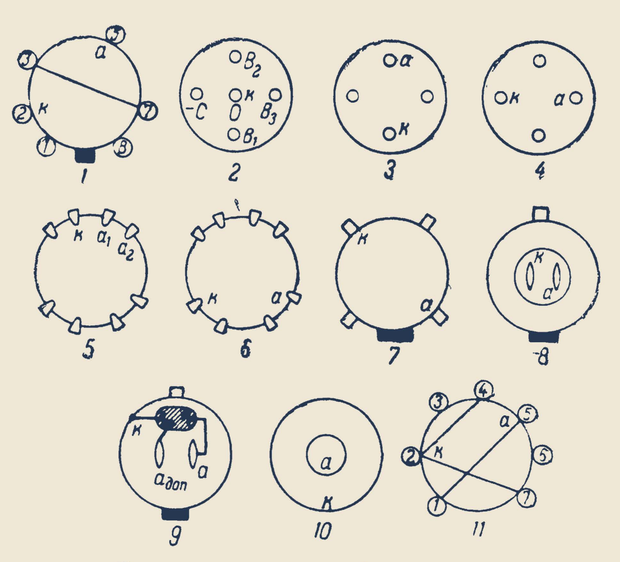
М. М. ЭФРУССИ

ГАЗОВЫЕ СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ





ГОСЭНЕРГОИЗДАТ



Схемы цоколевки стабилизаторов

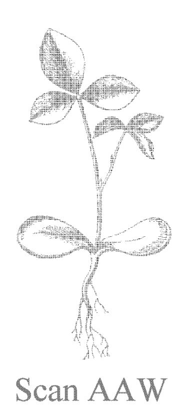
МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА

ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ АКАДЕМИКА А. И. БЕРГА

Выпуск 147

М. М. ЭФРУССИ

ГАЗОВЫЕ СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ





ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1952 ЛЕНИНГРАД

52208

Описывается устройство, принцип действия и особенности практического использования ламп тлеющего разряда (газовых стабилизаторов) в схемах стабилизирующих устройств.

В брошюре рассматриваются основные схемы для различных случаев использования газовых стабилизаторов. Приводится методика несложного расчета режима работы и основных данных схем с газовыми стабилизаторами. Указываются факторы, способствующие повышению стабилизирующих свойств схем, и приводятся схемы с повышенным коэффициентом стабилизации.

Брошюра рассчитана на подготовленного читателя.

СОДЕРЖАНИЕ

Редактор *К. Б. Мазель* Техн. редактор *С. Н. Бабочкин*

Сдано в набор 12/IV 1952 г. Подписано к печати 17/VII 1952 г.
Бумага $84 \times 108^1/_{32} = ^1/_2$ бумажным — 1,64 п. л. Уч.-изд. л. 2
Т-05650 Тираж 12 000 Заказ 3156
Цена 80 к. (номинал по прейскуранту 1952 г.)

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10

Стабильность напряжений питания некоторых элементов радиоустройств является одним из самых важных факторов, определяющих качество работы этих радиоустройств. Точность показаний измерительной аппаратуры, устойчивость радиоприема и радиопередачи и многие другие показатели зависят от постоянства питающих напряжений.

Существует несколько способов поддержания постоянства питающих напряжений, однако наиболее простым и доступным способом сохранения постоянства анодного и экранного напряжений является употребление газового стабилизатора, так же как и бареттера, для цепей накала.

Общедоступность газовых стабилизаторов, простота и дешевизна стабилизирующих устройств с ними, а также удобство эксплуатации способствовали значительному их распространению.

Несмотря на то, что в целом ряде книг и журналов освещаются некоторые вопросы работы газовых стабилизаторов, эти сведения довольно отрывочны, а часть из них даже ошибочна. Поэтому нам казалось полезным систематизировать и собрать воедино все касающееся устройств и работы газовых стабилизаторов с тем, чтобы читатель этой брошюры получил ответы на большинство могущих возникнуть у него вопросов.

ТЛЕЮЩИЙ РАЗРЯД В ГАЗЕ

Газ является хорошим изолятором. Однако, если газовый прибор (лампу), содержащий два электрода, соединить электродами с источником постоянного напряжения в несколько десятков вольт (20—40 *в*), то под действием какого-нибудь внешнего источника ионизации, например рентгеновского облучения, между электродами потечет электрический ток весьма малой величины. Этот ток обусловливается появлением в газе вследствие внешней ионизации зарядов: отрицательных (электронов) и положительных

(ионов), которые, двигаясь (первые к аноду, а вторые к катоду), создают электрический ток. В этом состоит основное отличие газовой лампы от вакуумной, у которой электрический ток создается движением только электронов.

Если приложенное к электродам напряжение создает достаточную скорость движения электронов к аноду, то на своем пути, сталкиваясь с частицами газа и выбивая из атомов газа новые электроны, они произведут дополнительную ионизацию и тем резко увеличат ток через лампу. Эта дополнительная ионизация носит лавинообразный характер, так как в ней участвуют не только первичные электроны, порожденные внешним источником ионизации, но и в тысячи раз большее количество вторичных электронов, созданных дополнительной ионизацией, ибо ионизация может производиться всеми движущимися к аноду электронами, как первичными, так и вторичными.

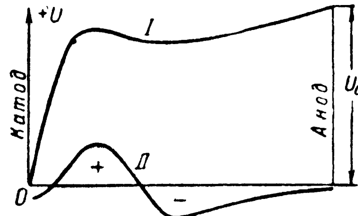
Такой лавинообразный разряд, возникающий от действия внешнего ионизатора и прекращающийся с окончанием его действия, называется несамостоятельным разрядом. Он имеет место, например, в газонаполненных фотоэлементах.

Дальнейшим увеличением приложенного к электродам напряжения можно несамостоятельный разряд в лампе сделать самостоятельным, т. е. не требующим внешнего специального ионизатора. Для этого приложенное напряжение должно сообщать электронам и ионам, почти всегда имеющимся в газе, достаточную энергию для того, чтобы они могли ионизировать газ и создать лавинообразный процесс, описанный выше. Дополнительным источником ионизации являются электроны, выбиваемые из катода падающими на него ионами.

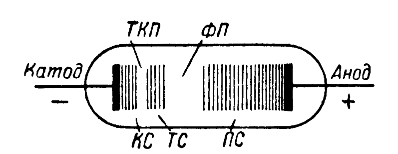
Начавшийся самостоятельный разряд должен быть ограничен сопротивлением, включенным последовательно с лампой, которое с увеличением тока уменьшает напряжение на электродах за счет увеличивающегося на нем падения напряжения. При отсутствии сопротивления ток через лампу может достигнуть очень большой величины, между электродами возникнет дуговой разряд, и лампа будет пробита.

Самостоятельный разряд в газовой лампе, ограниченный последовательно включенным сопротивлением, называется тлеющим разрядом. При таком разряде в лампе происходят следующие явления. В результате ионизации, возникшей под влиянием приложенного к электродам напряжения, образуются большие количества электронов и ионов. Электроны быстро уходят к аноду и поглощаются им,

а ионы, обладающие значительно большей, чем электроны, массой, движутся к катоду медленнее и образуют в пространстве между электродами положительный пространственный заряд, т. е. область концентрации ионов. Этот положительный пространственный заряд образует в лампе как бы газовый анод, который расположен ближе к катоду, чем анод лампы. Вследствие этого между положительным пространственным зарядом и катодом увеличивается напряженность электрического поля и возрастает ионизация, которая становится возможной на меньших от катода расстояниях. В связи с этим пространственный заряд также перемещается ближе к катоду. Расстояние между катодом и положительным пространственным зарядом в установившемся режиме определяется силой тока через лампу: чем больше величина тока, тем ближе к катоду расположен пространственный заряд.



Фиг. 1. Распределение потенциала в газоразрядной лампе.



Фиг. 2. Распределение свечения в газоразрядной лампе.

На фиг. 1 (кривая *I*) показан характер распределения потенциала в лампе. Особенностью этого распределения является резкое падение потенциала вблизи катода (катодное падение). Величина катодного падения почти равна напряжению на электродах лампы. Небольшое снижение потенциала за областью положительного пространственного заряда объясняется наличием электронного пространственного заряда (отрицательного). Распределение пространственных зарядов показано кривой *II* на фиг. 1.

В соответствии с распределением потенциала в лампе располагается и свечение газа в ней (фиг. 2). Вблизи поверхности катода находится очень тонкое темное пространство, за которым лежит слой катодного свечения *КС*, состоящий из частиц газа, возбужденных выбиваемыми из катода электронами. Затем следует темное катодное пространство *ТКП*, которое переходит в резко ограниченный слой тлеющего свечения *ТС*. В области темного катодного пространства расположен участок катодного падения потен-

циала с положительным пространственным зарядом, а в области тлеющего свечения находится отрицательный пространственный заряд. Далее расположено темное фарадеево пространство *ФП* и за ним столб положительного свечения *ПС*, доходящий до анода (анодное падение).

Наличие столба положительного свечения определяется исключительно размерами лампы. В некоторых типах газовых стабилизаторов и во многих других газовых приборах этот столб отсутствует, так как в них анод помещен в области темного фарадеевого пространства. Положительный столб всегда имеется в газосветных лампах.

Свечение слоя тлеющего свечения происходит в основном за счет энергии, которая выделяется при воссоединении (рекомбинации) электронов и ионов. Рекомбинация здесь легко возникает вследствие незначительной направленности движения электронов и ионов, что обусловлено малой величиной напряженности электрического поля в области тлеющего свечения.

В зависимости от величины напряжения, приложенного к лампе с ограничивающим сопротивлением, или от величины последнего, катодное свечение может покрывать не всю поверхность катода, а только часть ее. Увеличение напряжения или уменьшение ограничивающего сопротивления вызывает увеличение тока и расширение светящейся поверхности катода. На практике было установлено, что когда свечением покрыта не вся поверхность катода, ток через лампу пропорционален площади светящейся поверхности, а плотность тока и величина катодного падения, определяющая рабочее напряжение лампы, остаются постоянными. Такой режим называется режимом нормального катодного падения. При давлении газа в лампе, равном нескольким сотым атмосферного давления (несколько сантиметров ртутного столба), величина нормального катодного падения зависит только от рода газа и материала поверхности катода.

Минимальное напряжение на электродах, при котором возникает газовый разряд, называется напряжением зажигания; минимальное напряжение, при котором сохраняется разряд, называется напряжением потухания.

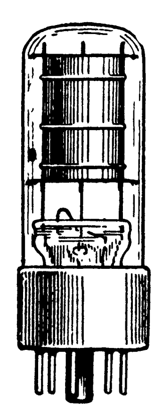
Напряжение зажигания тлеющего разряда зависит от нескольких факторов: рода газа, материала поверхности катода и произведения давления газа на междуэлектродное расстояние. Некоторые из этих факторов определяют и величину нормального катодного падения (т. е. рабочего напряжения лампы), величина которого, таким образом, свя-

зана с напряжением зажигания. Возникновение разряда (зажигание) происходит не мгновенно, так как требуется некоторое время после приложения напряжения для того, чтобы ионы достигли катода или приобрели достаточную скорость для ионизации толчком. Поэтому, чем больше приложенное напряжение, тем интенсивнее происходит ионизация и время, требующееся для зажигания, сокращается.

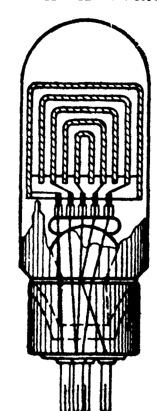
УСТРОЙСТВО И ОСОБЕННОСТИ ГАЗОВЫХ СТАБИЛИЗАТОРОВ

Газовый стабилизатор представляет собой стеклянный баллон цилиндрической формы (фиг. 3), наполненный каким-либо инертным газом (аргоном, гелием, неоном) при давлении в несколько сантиметров ртутного столба. В баллоне помещены два концентрически расположенных стальных или никелевых электрода, выполненных в виде стаканчиков или цилиндриков.

Стабилизаторы, которые могут одновременно использоваться и как делители напряжения, имеют три — пять таких электродов; жесткость их крепления обеспечивается употреблением слюдяных или керамических опор. Разрез стабилизатора-делителя показан на фиг. 4.



Фиг. 3. Внешний вид газового стабилизатора.



Фиг. 4. Разрез стабилизатора-делителя STV-280/40

Катод стабилизатора, подвергающийся, как было указано выше, ионной бомбардировке, должен иметь бóльшую, чем анод, площадь; поэтому катодом в стабилизаторе всегда является наружный электрод, имеющий наибольшую площадь. Для понижения рабочего и зажигающего напряжений стабилизатора поверхность его катода активируется, т. е. покрывается тончайшей (достаточно одноатомной) пленкой какого-нибудь редкоземельного металла (лантаноида) или сплавом из редкоземельных металлов, так называемым мишметаллом. Покрывание производится термическим испарением таблетки редкоземельного металла с ано-

да, куда она помещается для этой цели. Величина рабочего напряжения, определяемого в основном катодным падением, изменяется в зависимости от газа, которым наполняется баллон стабилизатора, причем часто для наполнения применяют смесь газов: так, баллон стабилизатора СГ2С наполнен неоном, а баллон СГ3С — смесью аргона и гелия. Кроме этого, в некоторых типах стабилизаторов для изменения величины рабочего напряжения используется помимо катодного падения потенциала и анодное падение (см. фиг. 1). Последнее немного повышает величину рабочего напряжения до округленной величины. Так, например, в стабилизаторе СГ4С катодное падение составляет около 132 *в*, а анодное около 18 *в*, что и обеспечивает величину 150 *в* рабочего напряжения.

Для снижения напряжения зажигания в некоторых стабилизаторах катод снабжается отростком (крючком), приближенным к аноду. Этот отросток катода хорошо виден в стабилизаторе СГ4С, если смотреть на него сверху.

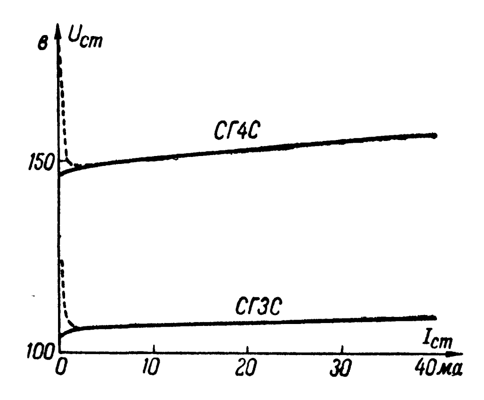
Изготовленный стабилизатор предварительно формуется рабочим напряжением в течение 40—80 час.; в конце формовки рабочее и зажигающее напряжения поднимаются на 10—20%. Это обстоятельство помимо размеров катода также подчеркивает необходимость соблюдения полярности при включении стабилизатора в схему.

Между подлежащим стабилизации источником электрического напряжения и стабилизатором всегда должно быть включено ограничительное сопротивление, называемое балластным или добавочным. Это сопротивление предохраняет стабилизатор от образования дугового разряда (пробоя) между электродами и, кроме того, как будет показано ниже, определяет стабилизирующие свойства схемы.

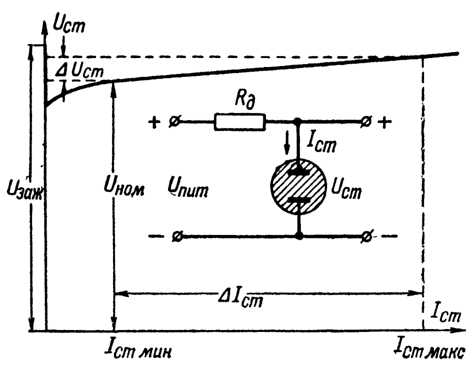
Если на стабилизатор подать выпрямленное напряжение больше напряжения зажигания, то между электродами стабилизатора возникнет тлеющий газовый разряд. После зажигания стабилизатор будет находиться в режиме нормального катодного падения. При этом напряжение на стабилизаторе остается почти постоянным, не зависящим (в некоторых пределах) от колебаний питающего напряжения. Величина стабилизованного напряжения (номинального рабочего напряжения стабилизатора) определяется родом газа и материалом, активирующим катод.

Стабилизирующие свойства стабилизатора хорошо иллюстрируются фиг. 5, на которой изображены вольтамперные характеристики двух стабилизаторов: СГ3С (105С5-30)

и СГ4С (150С5-30). Эти характеристики показывают, как изменяется напряжение в зависимости от тока через стабилизатор. Они показывают также, что зажигание стабилизатора (участок характеристики при $I_{cm} \approx 0$, пунктир) происходит при напряжении, несколько большем рабочего; потухание стабилизатора (тот же участок, сплошная линия) происходит при напряжении, меньшем рабочего.

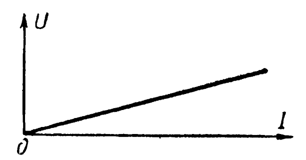


Фиг. 5. Вольтамперные характеристики стабилизаторов СГ3С и СГ4С.



Фиг. 6. Типовая вольтамперная характеристика стабилизатора и схема ее измерения.

Вольтамперная характеристика газового стабилизатора (см. фиг. 6) позволяет определить внутреннее сопротивление стабилизатора r_{icm} (которое является важным его параметром) и составить эквивалентную схему стабилизатора. Если сопоставить вольтамперную характеристику стабилизатора с вольтамперной характеристикой активного сопротивления R (фиг. 7), подчиняющегося закону Ома:



Фиг. 7. Вольтамперная характеристика активного сопротивления.

$$U = IR, \tag{1}$$

то легко обнаружить основную разницу, состоящую в том, что характеристика стабилизатора не проходит через нуль и отличается от прямой линии изгибом при минимальных значениях тока. Идеализируя вольтамперную характери-

стику стабилизатора в виде наклонной прямой (отбросив изогнутый участок характеристики, т. е. передвинув ось напряжений в точку $I_{ст\ мин}$, которая в этом случае становится нулевой), получим закон изменения такой идеализированной характеристики в виде:

$$U_{ст} = U_{ном} + I_{ст}\, r_{i\ ст}\ . \qquad (2)$$

Из этого выражения следует, что газовый стабилизатор эквивалентен батарее, включенной навстречу питающему напряжению, с напряжением, равным номинальному напряжению стабилизатора $U_{ном}$, и внутренним сопротивлением $r_{i\cdot ст}$, которое представляет собой внутреннее сопротивление стабилизатора для изменений тока через него (фиг. 9).

Это внутреннее сопротивление стабилизатора иногда называют внутренним сопротивлением стабилизатора переменному току (по аналогии с внутренним сопротивлением электронной лампы). Численно внутреннее сопротивление представляет собой отношение приращения напряжения на электродах стабилизатора к соответствующему приращению тока через него:

$$r_{i\ ст} = \frac{\Delta U_{ст}}{\Delta I_{ст}}\ . \qquad (3)$$

Эта величина сопротивления является постоянной для рабочего (прямолинейного) участка реальной вольтамперной характеристики стабилизатора.

Определяемое таким образом внутреннее сопротивление стабилизатора значительно отличается от сопротивления постоянному току, которое вычисляется по закону Ома делением величины напряжения на электродах стабилизатора на протекающий через него ток. Сопротивление постоянному току зависит от величины тока через стабилизатор и не является постоянной величиной; его значение много больше внутреннего сопротивления.

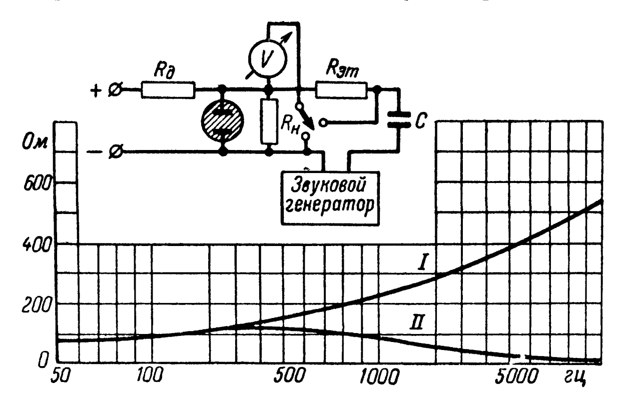
При отсутствии вольтамперной характеристики внутреннее сопротивление стабилизатора можно определить, если известно изменение напряжения на нем $\Delta U_{ст}$ при изменении тока через стабилизатор от минимального $I_{ст.\ мин}$, при котором существует тлеющий разряд (свечение), до максимального $I_{ст.\ макс}$, допускаемого размерами катода.

Для большинства стабилизаторов величина $r_{i\ ст}$ колеблется в пределах от 50 до 300 *ом*.

По отношению к потребителю стабилизованного напряжения (по отношению к нагрузке, присоединенной параллельно стабилизатору) величина $r_{i\,cm}$ представляет собой как бы внутреннее сопротивление источника питания.

В результате измерений, например с помощью схемы фиг. 8, установлено, что внутреннее сопротивление стабилизатора зависит от частоты.

На фиг. 8 (кривая *I*) показана типичная зависимость внутреннего сопротивления стабилизатора СГЗС от частоты; из этой кривой хорошо видно, что уже при частоте около



Фиг. 8. Частотная характеристика внутреннего сопротивления газового стабилизатора СГЗС.

600 *гц* внутреннее сопротивление вдвое больше, чем при частоте 50 *гц*. Такая зависимость внутреннего сопротивления стабилизатора от частоты означает, что оно является комплексным сопротивлением, т. е. содержит реактивную составляющую индуктивного характера. Через всякий источник питания, в данном случае через стабилизатор, проходит не только постоянный, но и колебательный ток питаемого устройства низкой или высокой частоты (например, переменная составляющая анодного тока усилительных каскадов). Поэтому падение напряжения на внутреннем сопротивлении стабилизатора, как бы оно мало ни было, будет возрастать с частотой.

Для уменьшения $r_{i\,cm}$ (как внутреннего сопротивления источника) в области звуковых и высоких частот рекомендуется шунтировать стабилизатор конденсатором 1—4 *мкф*. Кривая *II* на фиг. 8 показывает зависимость внутреннего сопротивления от частоты при шунтировании стабилизатора конденсатором емкостью 1 *мкф*.

Низкое внутреннее сопротивление стабилизатора переменному току обеспечивает улучшение фильтрации выпрямителя, а также уменьшает нежелательные связи через него, приводящие часто к самовозбуждению (генерации).

Это обстоятельство легко пояснить следующим примером: применение стабилизатора СГЗС, имеющего внутреннее сопротивление около 80 *ом*, для частоты 50 *гц* равноценно шунтированию источника питания конденсатором емкостью 40 *мкф*, а для частоты 5 *гц* стабилизатор равноценен конденсатору емкостью 400 *мкф*. Отсюда видно, какую ценность представляет стабилизатор для фильтрации весьма низких частот. В том случае, если в стабилизирующем устройстве работают два или более последовательно соединенных стабилизатора, внутреннее сопротивление стабилизирующей ячейки будет представлять сумму внутренних сопротивлений отдельных стабилизаторов.

Выше было указано, что зажигающее напряжение стабилизатора больше, чем рабочее. Для того чтобы стабилизатор зажегся в момент включения питания, напряжение на нем должно быть на 10—30 *в* выше номинального (рабочего). Для стабилизатора-делителя или нескольких последовательно соединенных стабилизаторов напряжение зажигания должно быть больше общего рабочего напряжения лишь на ту величину, на которую напряжение зажигания одного газового промежутка (стабилизатора) превышает рабочее напряжение этого же промежутка, т. е.

$$U_{заж} = U_{ст} + (U'_{заж} - U'_{ст}),$$

где $U'_{заж}$ и $U'_{ст}$ — зажигающее и рабочее напряжения одного газового промежутка (стабилизатора).

Наиболее трудно обеспечить зажигание стабилизатора, если в момент подачи на него питающего напряжения присоединенная к нему нагрузка будет потреблять наибольший допустимый ток. В этих условиях нагрузка препятствует повышению напряжения на стабилизаторе в первый момент после включения.

В случае стабилизатора-делителя или нескольких последовательно соединенных стабилизаторов для обеспечения зажигания каждый из электродов (кроме соединенных с питающим напряжением) рекомендуется присоединить к минусу или плюсу питающего напряжения через сопротивление 0,2—0,3 *мгом* мощностью 0,25 *вт*. Применение

этих сопротивлений обеспечивает подачу на каждый промежуток полного напряжения питания в момент включения.

Газовые стабилизаторы, даже одного типа, нельзя соединять параллельно с целью увеличения стабилизованного тока, так как в соединяемых параллельно стабилизаторах невозможно обеспечить одинаковый режим тлеющего разряда. Исключение составляют стабилизаторы, имеющие дополнительный зажигающий электрод (третий электрод). Этот дополнительный электрод у каждого из включаемых параллельно стабилизаторов соединяется через свое сопротивление (около 1 *мгом*) с плюсом питающего напряжения; аноды и катоды включаются параллельно.

Однако однотипные по току стабилизаторы можно соединять последовательно для повышения стабилизованного напряжения или образования делителя. Например, соединив последовательно стабилизаторы СГ2С (75С5-30) и СГ4С (150С5-30), можно получить стабилизованные напряжения в 225 и 150 *в* или 225 и 75 *в*, в зависимости от порядка их включения.

В стабилизаторе-делителе допустимая нагрузка отдельных электродов различна вследствие того, что их размеры не одинаковы, так, например, электроды стабилизатора STV-280/40 допускают следующую нагрузку током, считая от наружного электрода: 80 *ма*, 60 *ма*, 40 *ма* и 15 *ма*.

Стабилизаторы допускают 30-процентную кратковременную перегрузку током против номинала.

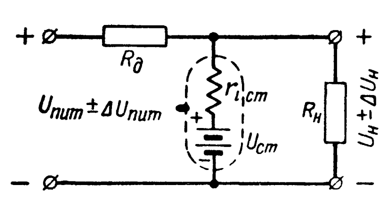
Если стабилизируется питание устройства, работающего в импульсном режиме, то нагрузку стабилизатора необходимо исчислять по максимальному, а не по среднему значению тока в импульсе. Если этот импульс высокочастотный, расчет ведут для его постоянной составляющей, так как высокочастотная составляющая будет проходить через конденсатор, включенный параллельно стабилизатору.

Если в стабилизирующем устройстве отключается нагрузка, то это вызывает немедленное увеличение тока, идущего через стабилизатор, на величину тока, потреблявшегося нагрузкой. С этой точки зрения максимальный ток, потребляемый нагрузкой, не должен быть больше максимально допускаемого для стабилизатора на величину тока через него в нормальном режиме. Только в этом случае отключение нагрузки не вызовет порчи стабилизатора прохождением через него тока больше допустимого. Если в момент подачи питающего напряжения нагрузка будет присоединена к стабилизатору, тогда можно допустить, чтобы

ток нагрузки был больше максимально допустимого для стабилизатора. Однако в этом случае стабилизатор может не зажечься без кратковременного отключения нагрузки. Кроме этого, повышение тока нагрузки ведет к уменьшению добавочного сопротивления $R_д$, что, как будет подробно показано дальше, уменьшает коэффициент стабилизации. Учитывая это будем называть максимальным током нагрузки ток, равный максимально допустимому стабилизатором, хотя допустимость кратковременной 30-процентной перегрузки стабилизатора и позволяет повысить ток нагрузки до 1,3 $I_{ст. макс}$.

КОЭФФИЦИЕНТ СТАБИЛИЗАЦИИ

Коэффициент стабилизации схемы с газовым стабилизатором определяется не только свойствами стабилизатора, но и данными схемы. Для облегчения расчета схемы целесообразно составить эквивалентную схему стабилизирующей ячейки, показанную на фиг. 9. В этой схеме стабилизатор представлен как источник кажущегося противодействующего напряжения $U_{ст}$ (номинальное напряжение стабилизатора) с внутренним сопротивлением $r_{i\,ст}$.



Фиг. 9. Эквивалентная схема стабилизующей ячейки.

Из схемы видно, что добавочное сопротивление $R_д$ и внутреннее сопротивление стабилизатора $r_{i\,ст}$ образуют по отношению к колеблющемуся напряжению $U_{пит}$ делитель (величиной шунтирующего сопротивления $R_н$ можно пренебречь ввиду того, что $r_{i\,ст} \ll R_н$). Это позволяет нам определить изменение стабилизованного напряжения на нагрузке $\Delta U_н \approx \Delta U_{ст}$ при изменении питающего напряжения $\Delta U_{пит}$.

Приращение напряжения на стабилизаторе будет составлять часть приращения питающего напряжения, определяемую соотношением плеч делителя:

$$\Delta U_{ст} = \Delta U_{пит} \frac{r_{i\,ст}}{R_д + r_{i\,ст}} \approx \Delta U_{пит} \frac{r_{i\,ст}}{R_д} \qquad (4)$$

($r_{i\,ст}$ в знаменателе пренебрегаем, так как $R_д \gg r_{i\,ст}$).

Формула (4) показывает, что изменение напряжения после стабилизатора в $R_д/r_{i\,ст}$ раз меньше изменения питающего напряжения.

Изменение стабилизованного напряжения в процентах представит собой умноженное на 100 отношение приращения этого напряжения ΔU_{cm} ко всему стабилизованному напряжению:

$$\Delta U_{cm\%} = \frac{\Delta U_{cm}}{U_{cm}} \cdot 100. \qquad (5)$$

Для практических расчетов удобнее выразить процент колебаний стабилизованного напряжения $\Delta U_{cm\%}$ в зависимости от процентной нестабильности питающего напряжения. Этот процент может быть рассчитан по формуле, которая выводится из выражения (4):

$$\Delta U_{cm\%} = \Delta U_{num\%} \frac{r_{i\,cm}}{R_\partial} \cdot \frac{U_{num}}{U_{cm}}. \qquad (6)$$

Для характеристики стабилизирующих свойств схемы с газовым стабилизатором надо знать еще коэффициент стабилизации. Он представляет собой отношение процентного изменения питающего напряжения к процентному же изменению стабилизованного напряжения, т. е.:

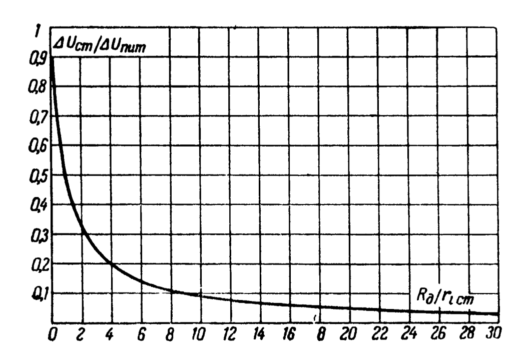
$$K_{cm} = \frac{\Delta U_{num\%}}{\Delta U_{cm\%}} = \frac{R_\partial \cdot U_{cm}}{r_{i\,cm} \cdot U_{num}}. \qquad (7)$$

Из эквивалентной схемы следует, что чем больше R_∂, тем больше должно быть питающее напряжение U_{num}. Однако большое значение U_{num} невыгодно с энергетической точки зрения, так как большая часть питающего напряжения будет теряться в добавочном сопротивлении, чем удорожается стоимость стабилизации.

Для решения вопроса о правильном выборе величины добавочного сопротивления в связи с его влиянием на стабилизацию можно воспользоваться графической зависимостью, связывающей величины стабилизации и добавочного сопротивления в соответствии с полной формулой (4). Эта зависимость, изображенная на фиг. 10, показывает, что увеличение отношения $R_\partial / r_{i\,cm}$ больше 10—12, не имеет смысла, так как при дальнейшем его увеличении отношение $\Delta U_{cm} / \Delta U_{num}$, определяющее коэффициент стабилизации,

уменьшается очень медленно, и выигрыш в коэффициенте стабилизации не окупается повышением напряжения питания.

Однако увеличение добавочного сопротивления несколько увеличивает диапазон стабилизации, т. е. пределы колебаний питающего напряжения, в которых обеспечивается стабилизация. Ввиду того, что работа стабилизатора ограничена минимальным и максимальным током через него, диапазон изменений питающего напряжения, в котором сохраняются стабилизирующие свойства схемы, определяется как произведение максимального изменения тока через стабилизатор (диапазон изменения тока) на добавочное сопротивление (внутренним сопротивлением стабилизатора мы здесь также пренебрегаем ввиду его незначительной величины по сравнению с добавочным сопротивлением), т. е.:



Фиг. 10. Графическое изображение зависимости отношения изменения стабилизованного напряжения к изменению питающего напряжения от отношения добавочного сопротивления стабилизатора к его внутреннему сопротивлению.

$$\Delta U_{пит} = (I_{ст.\ макс} - I_{ст\ мин}) R_{д}, \tag{8}$$

или, переводя в проценты к питающему напряжению,

$$N = \frac{100 (I_{ст.\ макс} - I_{ст.\ мин}) R_{д}}{U_{пит}}. \tag{9}$$

Величина питающего напряжения согласно схеме фиг. 9, в которой стабилизатор и добавочное сопротивление соединены последовательно, должна быть равна сумме стабилизованного напряжения на нагрузке $U_{ст}$ и падения напряжения на дополнительном сопротивлении, создаваемого током нагрузки $I_{н}$, плюс ток через стабилизатор $I_{ст}$, т. е.

$$U_{пит} = U_{ст} + (I_{н} + I_{ст}) R_{д}. \tag{10}$$

Можно принять за $I_{ст}$ минимальный ток через стабилизатор, который для большинства стабилизаторов лежит в пределах от 5 до 10 *ма*. При этом надо иметь в виду следующее. Из вольтамперной характеристики стабилизатора следует, что он при своей работе отвечает на повышение питающего напряжения увеличением тока через себя, а на уменьшение питающего напряжения — уменьшением тока. Это и позволяет с помощью добавочного сопротивления обеспечить постоянное напряжение на электродах стабилизатора.

Если при расчете величины питающего напряжения учитывается минимальное значение тока через стабилизатор, то для обеспечения стабилизации нужно считать питающее напряжение также минимальным, т. е. наинизшим напряжением заданного диапазона. Это означает, что если необходимо обеспечить постоянство стабилизованного напряжения при колебаниях сетевого напряжения на $\pm 10\%$, то напряжение выпрямителя (питания) по формуле (10) рассчитанное для минимального тока через стабилизатор должно соответствовать 0,9 сетевого напряжения.

Несоблюдение этого приведет к тому, что стабилизация будет односторонней, при которой только возрастание питающего напряжения будет регулироваться стабилизатором. Снижение же питающего напряжения не сможет быть скомпенсировано стабилизатором только потому, что ток через него уже не может уменьшиться без потухания стабилизатора, так как в расчете принималось минимальное значение этого тока.

Если при расчете по формуле (10) учитывать максимальное значение тока через стабилизатор $I_{ст \cdot макс}$, то при этом стабилизация будет происходить только при снижении питающего напряжения. Повышение питающего напряжения в этом случае может привести к порче стабилизатора из-за слишком большого тока через него. Поэтому для большинства случаев стабилизации правильным будет при расчете питающего напряжения полагать, что оно изменяется одинаково в обе стороны, и принимать среднее значение тока через стабилизатор равным полусумме максимального и минимального токов:

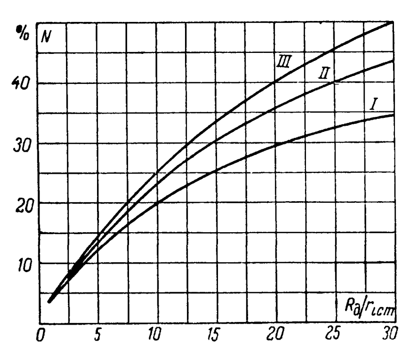
$$I_{ст.\,ср} = \frac{I_{ст.\,мин} + I_{ст.\,макс}}{2}. \qquad (11)$$

Из вышеизложенного следует, что значения питающего напряжения $U_{пит}$ и добавочного сопротивления $R_д$ оказы-

вают влияние не только на коэффициент стабилизации, но и на стабилизируемые (сдерживаемые) пределы колебаний питающего напряжения. Для того чтобы показать, как от величины отношения $R_д/r_{i\,ст}$ зависят стабилизируемые пределы колебаний напряжения питания, формула (9) с помощью выражений (3), (10) и (11) преобразуется в выражение, связывающее пределы стабилизации с отношением $R_д/r_{i\,ст}$ и параметрами стабилизатора и нагрузки:

$$N = \frac{100}{\frac{1}{2} + \frac{I_{ст.\,мин}}{\Delta I_{ст}} + \frac{I_н}{\Delta I_{ст}} + \frac{U_{ст}}{\Delta U_{ст}} \cdot \frac{r_{i\,ст}}{R_д}}. \quad (12)$$

По формуле (12) рассчитано семейство характеристик, показанное на фиг. 11, для трех различных токов нагрузки стабилизатора СГ4С: 30 *ма* (кривая *I*), 15 *ма* (кривая *II*) и 7,5 *ма* (кривая *III*). Эти кривые показывают, что полностью нагруженный стабилизатор СГ4С, у которого $I_{ст.\,мин} = 5$ *ма*; $\Delta I_{ст} = 25$ *ма* и $\Delta U_{ст} = 4$ *в*, при $R_д/r_{i\,ст} \approx$ ≈ 10 способен сдержать 20-процентные изменения питающего напряжения (колебания на $\pm 10\%$), а при $R_д/r_{i\,ст} \approx 20$ способен стабилизировать изменения питающего напряжения на 29%. Если нагрузка стабилизатора потребляет половину максимально допускаемого им тока, пределы стабилизации увеличиваются до 23% для первого случая и до 36% для второго. Следует иметь в виду, что при $R_д/r_{i\,ст} \approx 10$ напряжение питания должно быть примерно в 1,5 раза больше стабилизованного напряжения, а при $R_д/r_{i\,ст} \approx 20$ примерно в 2 раза больше.



Фиг. 11. Зависимость пределов стабилизации схемы со стабилизатором СГ4С от отношения величины добавочного сопротивления к внутреннему сопротивлению стабилизатора.

Сопоставление кривых фиг. 10 и 11 показывает, что пределы стабилизации в отличие от коэффициента стабилизации увеличиваются почти пропорционально отношению $R_д/r_{i\,ст}$, т. е. растут с увеличением добавочного сопротивления.

Когда напряжение, подлежащее стабилизации, известно заранее, расчет схемы со стабилизатором должен производиться в обратном порядке: исходя из напряжения питания, сначала определяют величину добавочного сопротивления при заданном токе нагрузки:

$$R_{\partial}=\frac{U_{пит}-U_{ст}}{I_{н}+I_{ст.ср}}, \qquad (13)$$

а затем и остальные величины.

За величину $U_{пит}$ следует принимать напряжение на выходе фильтра выпрямителя, если газовый стабилизатор используется для поддержания постоянства напряжения одной или нескольких цепей радиоустройства, в то время как остальные ступени питаются от того же выпрямителя нестабилизованным напряжением. Если же через добавочное сопротивление стабилизатора идет весь ток, отдаваемый выпрямителем, то за величину $U_{пит}$ принимают напряжение на входе фильтра выпрямителя и применяют сопротивление R_{∂}, уменьшенное против расчетной на величину сопротивления дросселя фильтра, так как дроссель также является ограничивающим для стабилизатора сопротивлением. Отсюда следует, что дроссель, применяемый в фильтре выпрямителя, питающего только стабилизатор, может иметь повышенное сопротивление обмотки. При этом для улучшения фильтрации добавочное сопротивление следует вводить в фильтровую ячейку (как дополнение к дросселю).

Интересно отметить, что при потреблении от стабилизатора тока в 40 *ма* и более (например, используя стабилизатор STV-280/40 в качестве добавочного сопротивления или части его может быть с успехом использован высоковольтный железо-водородный бареттер (85—250 *в*) с номинальным током бареттирования (нагрузки) в 50—60 *ма*.

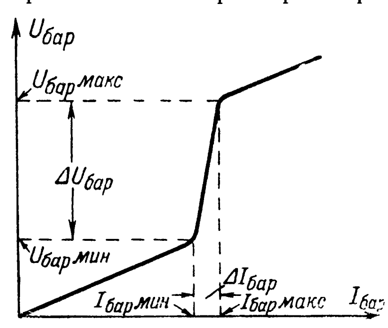
Употребление бареттера, хотя и усложняет схему стабилизирующего устройства, может оказаться в ряде случаев целесообразным вследствие некоторых выгод, которые он дает. Выгоды эти таковы: 1) обеспечивается зажигание стабилизатора, работающего в трудных в смысле зажигания условиях (см. стр. 12), так как в момент подачи питающего напряжения холодный бареттер имеет незначительное сопротивление и, следовательно, на стабилизатор подается бóльшая величина напряжения; 2) повышается в несколько раз коэффициент стабилизации для медленных колебаний питающего напряжения, потому что внутреннее

сопротивление высоковольтного бареттера (так называемое сопротивление переменному току) равно 10 000—15 000 *ом.*

Внутреннее сопротивление бареттера подсчитывается подобно внутреннему сопротивлению стабилизатора по его вольтамперной характеристике (фиг. 12). Оно представляет собой величину отношения приращения напряжения к приращению тока на рабочем участке бареттера:

$$r_{i\,бар}=\frac{\Delta U_{бар}}{\Delta I_{бар}}. \qquad (14)$$

Подсчитанная таким образом величина внутреннего сопротивления бареттера справедлива только для плавных (медленных) изменений напряжения, так как за быстрыми изменениями напряжения бареттер не успевает следить из-за собственной тепловой инерции.



Фиг. 12. Типовая вольтамперная характеристика бареттера.

Расчет добавочного сопротивления в случае использования бареттера ведется, исходя из напряжения, получающегося, если питающее напряжение убавить на величину среднего рабочего напряжения бареттера (например, для бареттера 85—250 *в* оно равно около 170 *в*), т. е.:

$$R_{д}=\frac{U_{пит}-(U_{бар}+U_{cm})}{I_{н}+I_{cm.\,ср}}. \qquad (15)$$

Может оказаться, что добавочное сопротивление и не потребуется, если питающее напряжение не слишком велико.

Незначительное внутреннее сопротивление газового стабилизатора обеспечивает ему еще одно ценное свойство: поддержание постоянства напряжения независимо от колебаний тока нагрузки. Это особенно существенно в случае стабилизатора-делителя, имеющего несколько газовых промежутков, или в случае нескольких последовательно соединенных стабилизаторов, часть которых может нести переменную нагрузку. При этом бывает необходимо знать, как влияют колебания тока нагрузки отдельных промежутков (стабилизаторов) на величину полного стабилизованного напряжения.

Подобно тому, как было установлено влияние изменений питающего напряжения на величину стабилизованного напряжения, с помощью эквивалентной схемы (фиг. 9) может быть определено и влияние колебаний нагрузки. Изменение величины стабилизованного напряжения газового промежутка (стабилизатора) при изменении тока нагрузки этого промежутка на $\Delta I'_н$ приблизительно равно произведению величины этого изменения тока на внутреннее сопротивление секции стабилизатора $r'_{i\,ст}$, являющейся как бы внутренним сопротивлением источника питания:

$$\Delta U'_{ст} \approx \Delta I'_н \, r'_{i\,ст}. \qquad (16)$$

Если несколько газовых промежутков (стабилизаторов) несут изменяющуюся нагрузку, то влияние колебаний напряжений отдельных секций на стабилизованное напряжение соседних секций (стабилизаторов) по аналогии с рассуждениями при выводе формулы (4) будет равно:

$$\Delta U'_{ст} \approx \Delta U''_{ст} \frac{r'_{i\,ст}}{R_д}, \qquad (17)$$

то есть изменение напряжения на отдельных промежутках вызывает у соседних промежутков изменение напряжения, уменьшенное в $R_д/r'_{i\,ст}$ раз.

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Пример 1. Произведем расчет стабилизирующей схемы со стабилизатором STV-280/40, для которого полное рабочее напряжение (между крайними электродами) $U_{ст} = 280$ *в*; число газовых промежутков 4; напряжение на каждом промежутке $U'_{ст} = 70$ *в*; напряжение зажигания промежутка $U'_{заж} = 95$ *в*; максимальный ток стабилизатора $I_{ст.\,макс} = 40$ *ма*; минимальный ток стабилизатора $I_{ст.\,мин} = 8$ *ма*; изменение напряжения при изменении тока от минимальной до максимальной величины $\Delta U_{ст} = 8$ *в*.

Внутреннее сопротивление стабилизатора будет согласно формуле (3):

$$r_{i\,ст} = \frac{8}{0{,}04 - 0{,}008} = 250 \text{ ом},$$

а внутреннее сопротивление одного промежутка (секции):

$$r_{i\,ст} = \frac{250}{4} = 62 \text{ ом}.$$

Принимаем добавочное сопротивление:

$$R_\partial = 10 r_{i\,cm} = 10\cdot 250 = 2\,500\ ом.$$

Таким образом,

$$\frac{R_\partial}{r_{i\,cm}} = \frac{2\,500}{250} = 10.$$

Питающее напряжение для тока нагрузки $I_н = 35$ *ма* должно быть согласно формуле (10):

$$U_{num} = 280 + 2\,500\left(0{,}035 + \frac{0{,}04 + 0{,}008}{2}\right) = 427\ в.$$

Отношение величин питающего напряжения к стабилизованному:

$$\frac{U_{num}}{U_{cm}} = 1{,}52.$$

Это отношение в большинстве случаев стабилизации берется равным $1{,}5 \div 2$.

Стабильность питающего напряжения повышается согласно формуле (7) в

$$K_{cm} = \frac{2\,500\cdot 280}{250\cdot 427} \approx 6{,}6\ раз.$$

Предельное изменение питающего напряжения, сдерживаемое стабилизатором согласно формуле (9),

$$N = \frac{100\,(0{,}04 - 0{,}008)\cdot 2\,500}{427} \approx 18\%\ (\pm 9\%).$$

Если ток нагрузки одного из газовых промежутков будет изменяться на 30 *ма*, то напряжение на этой секции (промежутке) будет изменяться согласно формуле (16) на

$$\Delta U'_{cm} = 0{,}03\cdot 62 = 1{,}86\ в,$$

а стабилизованное напряжение на каждом из остальных промежутков будет изменяться согласно формуле (17) на

$$\Delta U''_{cm} \approx \frac{1{,}86\cdot 62}{2\,500} = 0{,}046\ в,$$

что составляет около 0,07% $\left(\frac{\Delta U''_{cm}\cdot 100}{U''_{cm}}\right)$.

Пример 2. Рассчитаем теперь схему с повышенным коэффициентом стабилизации, изображенную на фиг. 13. Расчет будем вести, считая заданными: величину напряжения питания $U_{num} = 400$ *в*; ток нагрузки $I_н = 22$ *ма* ($I_{н1} = 7$ *ма*; $I_{н2} = 15$ *ма*), величину стабилизованного напряжения $U_{cm} = 210$ *в* (105 *в* и 210 *в*). Исходя из этих условий, самым правильным будет выбор стабилизаторов СГ3С и СГ4С. Минимальный ток обоих типов стабилизаторов $I_{cm.\,мин} = 5$ *ма*; максималь-

ный рабочий ток $I_{ст.\ макс}=30$ *ма*: внутреннее сопротивление стабилизатора СГ3С $r_{i\ ст}=80$ *ом* и СГ4С $r_{i\ ст}=160$ *ом*.

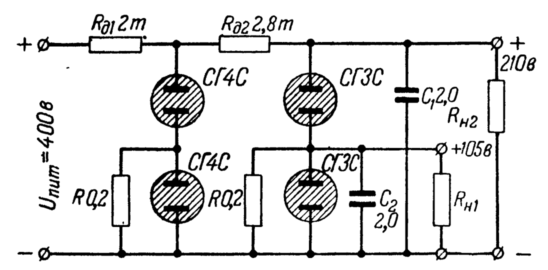
Расчет ведем, начиная со второго каскада стабилизации.

Напряжение питания второго каскада $U_{пит\ 2}=2\cdot 150=300$ *в*.

Добавочное сопротивление согласно формуле (13):

$$R_{д_2}=\frac{300-210}{0{,}022+0{,}01}=2\,800\ ом.$$

Поскольку второй каскад питается напряжением, стабилизованным первым каскадом, можно ток стабилизатора принять меньшим, чем $I_{ст.\ ср}$ (10 *ма* вместо 17 *ма*) и за счет этого увеличить ток нагрузки $I_н$.



Фиг. 13. Схема с повышенным коэффициентом стабилизации.

Ток нагрузки первого каскада

$$I_{н1}=I_н+I_{ст_2}=0{,}022+0{,}01=0{,}032\ а.$$

Добавочное сопротивление первого каскада

$$R_{д_1}=\frac{400-300}{0{,}032+0{,}017}\approx 2\,000\ ом.$$

Предельное изменение питающего напряжения, сдерживаемое схемой, будет определяться первым каскадом, так как второй каскад стабилизации, питаемый уже стабилизованным, т. е. мало изменяющимся, напряжением, будет недоиспользован в отношении пределов стабилизации, которые он может обеспечить.

Согласно формуле (9) предельное изменение питающего напряжения для первого каскада будет равно:

$$N=\frac{100\cdot(0{,}03-0{,}005)\cdot 2\,000}{400}=13\%.$$

Процент колебаний стабилизованного напряжения первого каскада при таком изменении питающего напряжения согласно формуле (6)

$$\Delta U_{ст_1}=\Delta U_{пит_2}=13\cdot\frac{2\cdot 160}{2\,000}\cdot\frac{400}{300}=2{,}8\%.$$

Процент колебаний стабилизованного напряжения второго каскада т. е. напряжения на нагрузке, согласно той же формуле:

$$\Delta U_{ст2}=2{,}8\cdot\frac{2\cdot 80}{2\,800}\cdot\frac{300}{210}\simeq 0{,}23\%.$$

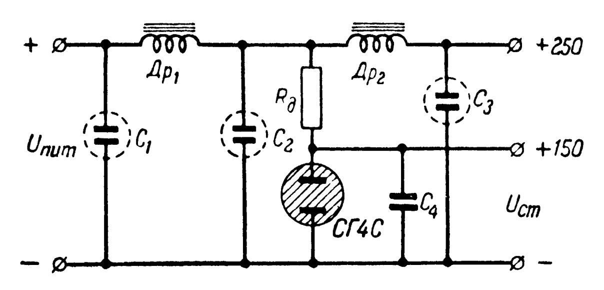
Таким образом, рассчитанная нами схема обеспечивает изменение стабилизованного напряжения на 0,23% при колебаниях питающего напряжения на 13%. Коэффициент стабилизации, даваемый этой схемой, согласно формуле (7):

$$K_{cm} = \frac{13}{0,23} = 56,$$

т. е. влияние колебаний питающего напряжения ослабляется схемой в 56 раз.

ТИПОВЫЕ СХЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАЗОВЫХ СТАБИЛИЗАТОРОВ

1. Схема для питания приемника (фиг. 14). Это одна из простейших схем, обеспечивающих стабилизованное напряжение для питания гегеродина и цепей экранных сеток при наличии нестабилизованного напряжения большей величины для питания остальных цепей приемника. Подобные схемы питания часто употребляются в профессиональных и высококачественных радиоприемниках. В зависимости от необходимой величины стабилизованного напряжения выбирается тип стабилизатора СГ2С, СГ3С или СГ4С, а это в свою очередь определит величину добавочного сопротивления R_∂. Первый дроссель фильтра $Др_1$ должен иметь небольшое сопротивление обмотки (около 50—100 *ом*), так как он является элементом связи между стабилизованной и нестабилизованной частями схемы. Значительное сопротивление дросселя при работе стабилизатора может привести к нежелательным колебаниям нестабилизованного напряжения, ибо во время работы стабилизатора может сильно изменяться ток через этот дроссель и падение напряжения на нем.

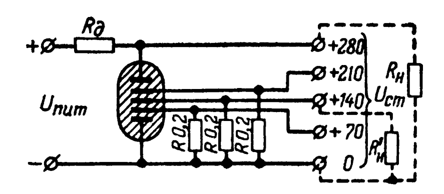


Фиг. 14. Схема для питания приемника.

В связи с этим схема содержит второй дроссель $Др_2$,

который с конденсатором C_3 образует дополнительный фильтр в цепи нестабилизованного напряжения. Конденсатор C_4 порядка 1—2 *мкф* служит для уменьшения внутреннего сопротивления источника стабилизованного питания на высоких частотах.

2. Схема включения стабилизатора-делителя. Схема (фиг. 15) использует стабилизатор-делитель типа STV-280/40; она обеспечивает одновременно четыре значения стабилизованного напряжения: 70, 140, 210 и 280 *в*. При желании возможно присоединить к стабилизованному напряжению несколько нагрузок (на фиг. 15 показаны две нагрузки), суммарный ток которых не должен превышать 40 *ма*. Сопротивления R по 0,2 *мгом* служат для облегчения зажигания стабилизатора. Если нет надобности в таком большом стабилизованном напряжении (280 *в*), то можно снизить как стабилизованное, так и питающее напряжения, закоротив часть промежутков (секций) стабилизатора. Закорачивать всегда следует со стороны анодов (+280, +210), так как при этом исключаются внутренние электроды стабилизатора, допускающие меньшую нагрузку.



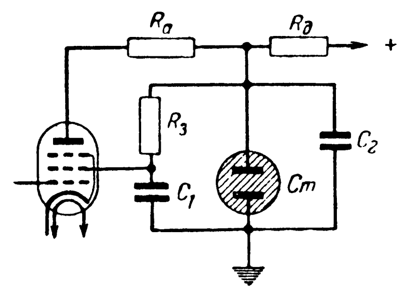
Фиг. 15. Схема включения стабилизатора-делителя

Если заземлить зажим с отметкой +70, то зажим с отметкой 0 может быть использован для подачи отрицательного смещения, которое может регулироваться потенциометром 2 000—3 000 *ом*, включенным между зажимами 0 и +70. В этом случае максимальное анодное напряжение будет равно 210 *в*.

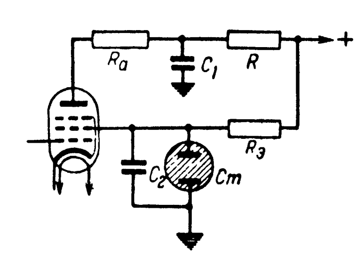
Добавочное сопротивление $R_д$ должно быть рассчитано по формуле (13) для конкретных величин нагрузки и питающего напряжения. Если $U_{пит} = 420$ *в*, а нагрузка составляет 30 *ма*, то $R_д = 2\,600$ *ом*. При отсутствии стабилизатора-делителя несколько стабилизованных напряжений могут быть получены последовательным включением двух или трех стабилизаторов, допускающих одинаковую нагрузку, как это показано, например, на фиг. 13. Соединяя стабилизаторы последовательно, следует обратить особое внимание на соблюдение полярности; анод одного из стабилизаторов (нижнего) должен соединяться с катодом другого (верхнего).

3. **Схема включения стабилизатора, как анодного фильтра.** Низкое внутреннее сопротивление стабилизатора делает его весьма ценным для использования в качестве анодного развязывающего фильтра в каскадах предварительного усиления. В этой схеме (фиг. 16) он включается вместо конденсатора большой емкости, причем одновременно он стабилизует напряжение на аноде и экранной сетке лампы.

Тип стабилизатора и добавочное сопротивление выбираются, исходя из данных питаемой лампы и величины необ-



Фиг. 16. Схема включения стабилизатора в анодный фильтр.



Фиг. 17. Схема включения стабилизатора в цепь экранной сетки.

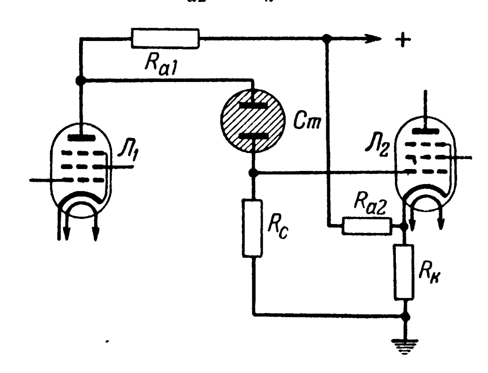
ходимого анодного напряжения. При стабилизаторе СГ4С и токе анода и экранной сетки, равном 10 *ма*, добавочное сопротивление может быть $R_д = 4\,000$ *ом*.

Разновидностью этой схемы является схема фильтрации экранного напряжения (фиг. 17). Конденсатор C_2 служит для улучшения фильтрации более высоких частот в связи с возрастанием внутреннего сопротивления стабилизатора с частотой. Обе приведенные схемы особенно эффективны в усилителях инфразвуковых частот (5—50 *гц*). Следует, однако, иметь в виду, что в усилителях с большим коэффициентом усиления (больше миллиона) использование стабилизаторов может повышать собственные шумы усилителя.

4. **Схема включения стабилизатора как элемента связи.** Эта схема (фиг. 18) предназначена для использования ее в усилителях постоянного тока. Положительное напряжение на сетке лампы второго каскада усиления ($Л_2$), которое без стабилизатора (при соединении анода $Л_1$ с сеткой $Л_2$) равно анодному напряжению первого каскада, при наличии стабилизатора *Ст* уменьшается на величину его рабочего напряжения. Уменьшение положительного напряжения на сетке лампы $Л_2$ облегчает задачу его

компенсации (сетка $Л_2$ должна иметь отрицательное смещение).

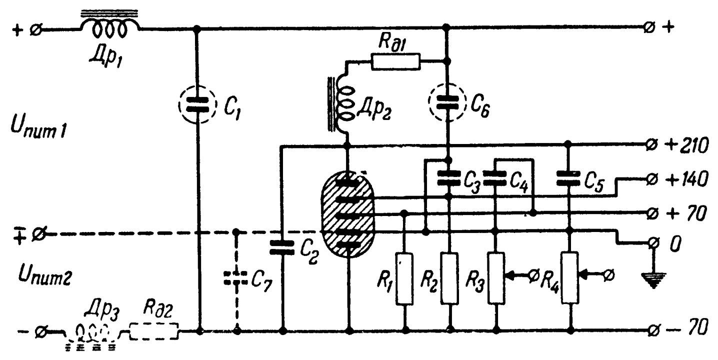
Компенсация положительного напряжения осуществляется с помощью сопротивлений R_{a2} и $R_к$; на сопротивлении $R_к$ падает компенсирующее (отрицательное) напряжение, создаваемое анодным током $Л_2$ и дополнительным током, проходящим через R_{a2}.



Фиг. 18. Схема включения стабилизатора, как элемента междуламповой связи.

Так как внутреннее сопротивление стабилизатора во много раз меньше сеточного сопротивления R_c, использование стабилизатора не приведет к уменьшению коэффициента усиления.

5. Схема для питания передающего устройства. Схема (фиг. 19) предназначается для питания маломощного передающего устройства. Она позволяет питать задающий генератор и другие маломощные каскады стабилизованными напряжениями; выходные каскады получают нестабилизованное напряжение, к тому же значительно большей величины. При этом сеточное напряжение выходных каскадов берется от стабилизованной части с потенциометров R_3 и R_4.



Фиг. 19. Схема для питания передающего устройства.

Слабым местом такой схемы является то, что общий анодный ток должен проходить через оба потенциометра и не должен превышать максимально допускаемого катодом стабилизатора STV-280/40 тока, т. е. 80 *ма*; на эту величину тока и должны быть рассчитаны потенциометры. Недостаток схемы легко устраняется питанием части стабилизатора, нагруженного потенциометрами R_3 и R_4 от отдельного источника напряжением порядка 100—120 *в* через отдельный дроссель $Др_3$ и добавочное сопротивление $R_{д2}$. В этом случае возможно присоединить минус высокого анодного напряжения к электроду 0 и избавить тем самым сеточные потенциометры от прохождения анодного тока. Это изменение схемы отмечено пунктиром.

В схеме (фиг. 19) подобно схеме фиг. 14 дроссель $Др_1$ должен быть малоомным (50—100 *ом*). Добавочное сопротивление $R_{д1}$ и дроссель $Др_2$ вместе с конденсаторами C_1 и C_2 образуют фильтровую ячейку, сглаживающую напряжение, питающее стабилизатор. Сопротивления R_1 и R_2 по 0,2—0,25 *мгом* служат для облегчения зажигания, а конденсаторы C_3, C_4 и C_5 малой емкости (0,05—0,1 *мкф*) — для отведения токов высокой частоты.

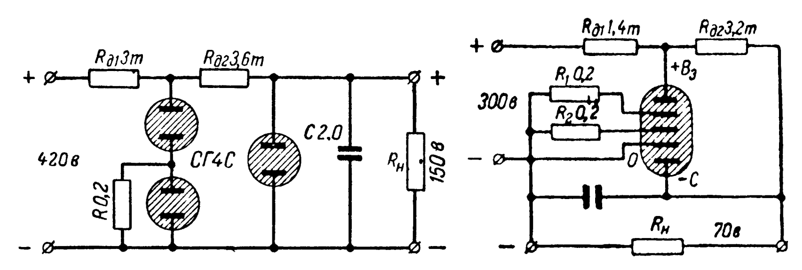
6. Схемы с повышенным коэффициентом стабилизации. Эти схемы, носящие название каскадных, дают значительное повышение стабильности благодаря тому, что питающее напряжение стабилизуется дважды: сначала первым каскадом, а затем вторым. Каскадное использование стабилизаторов, давая очень высокий коэффициент стабилизации, снижает, однако, экономичность схемы и тем самым повышает стоимость стабилизации. Дополнительная потеря питающего напряжения в добавочном сопротивлении второго каскада приводит к тому, что стабилизованное напряжение оказывается в 2—4 раза меньше питающего.

Следует отметить, что однокаскадная схема даже при таком большом превышении питающего напряжения над стабилизованным и, следовательно, при большой величине добавочного сопротивления не дает такой высокой стабильности, как двухкаскадная схема.

Первая схема (фиг. 20), использующая три стабилизатора типа СГ4С, дает 150 *в* стабилизованного напряжения и при напряжении питания 420 *в* обеспечивает стабильность напряжения около 0,08% ($K_{ст} = 187$) при колебаниях питающего напряжения на 15% (±7,5%). Для сравнения интересно отметить, что при тех же условиях обычная одно-

каскадная схема с одним стабилизатором СГ4С обеспечивает стабильность порядка 0,6%, т. е. почти в 8 раз меньшую ($K_{cm} = 25$).

При употреблении двухкаскадных схем стабилизации ток, отбираемый нагрузкой, должен быть несколько меньше максимального (на величину тока через стабилизатор второго каскада), во избежание перегрузки стабилизатора первого каскада. При этом следует иметь в виду, что ток



Фиг. 20. Схема двухкаскадной стабилизации с тремя стабилизаторами.

Фиг. 21. Схема двухкаскадной стабилизации с одним стабилизатором.

через стабилизатор второго каскада будет при работе схемы мало изменяться, так как напряжение питания второго каскада стабилизовано первым каскадом. Поэтому при расчете величины добавочного сопротивления второго каскада ток стабилизатора этого каскада следует полагать меньшим, чем $I_{cm \cdot cp}$ и принимать его приблизительно равным $2I_{cm \cdot мин}$, что позволит увеличить ток нагрузки.

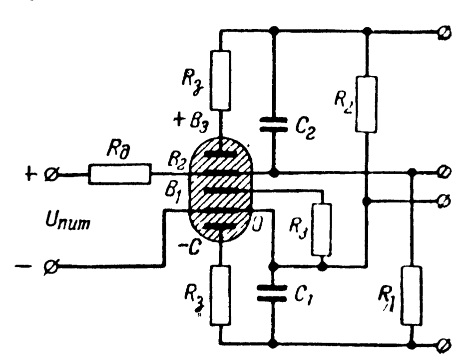
Вторая схема (см. фиг. 13) представляет собой незначительное изменение предыдущей; она позволяет получить два стабилизованных напряжения. Расчет этой схемы дан в качестве примера на стр. 23.

Последняя двухкаскадная схема (фиг. 21) использует один стабилизатор типа STV-280/40 и дает 70 *в* стабилизованного напряжения. При напряжении питания 300 *в* схема обеспечивает стабильность порядка 0,17% при колебаниях питающего напряжения на 15% ($K_{cm} = 88$). Особенностью этой схемы является то, что электрод стабилизатора, обозначенный 0, служит катодом для обоих каскадов стабилизации. Во избежание перегрузки стабилизатора ток нагрузки должен быть около половины максимального.

7. С х е м а и м п у л ь с н о г о г е н е р а т о р а с о с т а б и л и з а т о р о м. Схема (фиг. 22) представляет собой два независимых релаксационных генератора, могущих одновре-

менно давать импульсы двух частот. Генераторными являются промежутки стабилизатора 0—C и B_2—B_3.

Принцип работы каждого из генераторов таков. Стабилизованное напряжение в 140 *в*, получаемое от двух промежутков 0—B_2, заряжает конденсаторы C_1 и C_2 через сопротивления R_1 и R_2. Как только напряжение на конденсаторе достигает величины напряжения зажигания промежутка, присоединенного параллельно конденсатору, происходит зажигание этого промежутка, и конденсатор разряжается через промежуток стабилизатора и защитное сопротивление $R_з$. Поскольку сопротивления промежутка и защитное — малы, происходит очень быстрый разряд конденсатора до напряжения потухания промежутка, после чего разряд прекращается и снова начинается заряд конденсатора.



Фиг. 22. Схема импульсного генератора со стабилизатором.

Напряжения на конденсаторах C_1 и C_2 периодически колеблются между величинами напряжений зажигания и потухания промежутков стабилизатора с частотой, определяемой величинами этих напряжений, величинами сопротивлений R_1 и R_2 и емкостями конденсаторов C_1 и C_2 (величина защитного сопротивления $R_з$ мало влияет на частоту колебаний). Форма колебательного напряжения на конденсаторах — пилообразная, не совсем правильной формы. Частота колебаний, которую можно получить с помощью такого генератора, лежит в пределах приблизительно от 0,003 *гц* до 10 *кгц*, устойчивость частоты колебаний не очень велика.

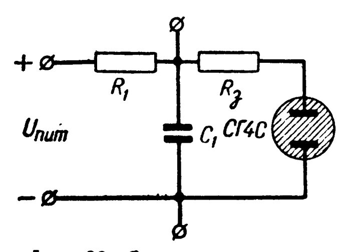
Данные схемы таковы: стабилизатор — типа STV-280/40; конденсаторы C_1 и $C_2 = 0{,}05$—5 *мкф*, сопротивления R_1 и $R_2 = 0{,}5$—5 *мгом*; $R_з = 300$ *ом*; $R_3 = 0{,}2$ *мгом*.

Очевидно, что подобный релаксационный генератор может быть сделан и с одиночным стабилизатором (например СГ4С). В этом случае его схема должна соответствовать схеме включения одного промежутка (фиг. 23).

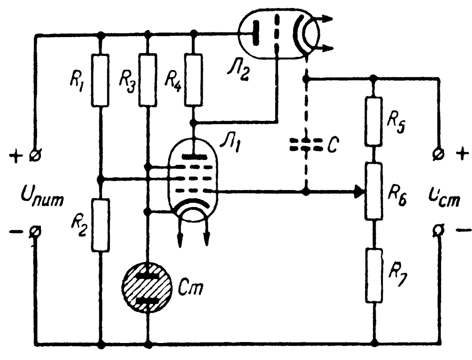
8. Схема электронного стабилизатора напряжения. Одним из самых важных применений газо-

вых стабилизаторов является использование их в различных схемах электронной стабилизации напряжения с отрицательной обратной связью. Одна из типичных схем таких стабилизаторов показана на фиг. 24.

В этой схеме газовый стабилизатор C_m поддерживает постоянное («опорное») на-



Фиг. 23. Схема импульсного генератора с одиночным стабилизатором.



Фиг. 24. Схема электронного стабилизатора напряжения.

пряжение на катоде усилительной лампы $Л_1$ относительно общего минуса. Разность между этим напряжением и падением напряжения на сопротивлениях R_6 и R_7 представляет отрицательное смещение на сетке лампы $Л_1$. Увеличение выходного напряжения $U_{cп}$ уменьшает это отрицательное смещение и повышает анодный ток лампы $Л_1$. Увеличение падения напряжения на сопротивлении R_4, возникшее в результате повышения анодного тока $Л_1$, увеличивает отрицательное смещение на сетке лампы $Л_2$ и, уменьшая ее анодный ток, повышает внутреннее сопротивление этой лампы для постоянного тока. Так как внутреннее сопротивление лампы $Л_2$ включено между плюсом питающего и стабилизованного напряжения, то увеличение внутреннего сопротивления стремится снизить выходное напряжение, т. е. противодействует исходному изменению напряжения.

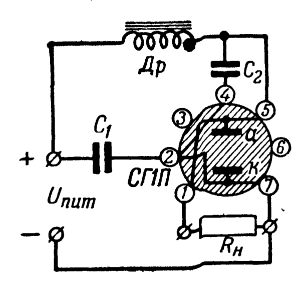
Таков механизм авторегулировки схемы, с помощью которой поддерживается постоянство выходного напряжения. Величина выходного напряжения может в некоторых пределах регулироваться движком потенциометра R_6. Конденсатор C способствует снижению пульсаций. Из рассмотренного принципа работы схемы фиг. 24 очевидно, что работа схемы немыслима без поддержания стабильного постоянного

напряжения на катоде усилительной лампы $Л_1$. Это напряжение обеспечивается газовым стабилизатором, который может быть заменен только батареей.

Основные данные стабилизаторов

Обычно выбор схемы стабилизирующей ячейки начинается с выбора типа газового стабилизатора. Он определяется главным образом величинами напряжения (или нескольких напряжений) и тока, которые необходимо получить от стабилизирующего устройства. Для облегчения выбора типа стабилизатора на 3 полосе обложки приводится таблица основных данных стабилизаторов.

Цоколевка стабилизаторов (вид со стороны контактных выводов) показана на 2 полосе обложки. Перемычка в цоколе (стабилизаторы СГ2С, СГ3С, СГ4С) сделана для того, чтобы, включая ее в цепь первичной или повышающей обмотки силового трансформатора, при вынутом стабилизаторе разорвать какую-либо из этих цепей и, снимая этим с конденсаторов фильтра выпрямленное выпряжение, защитить их от возможного пробоя, так как в отсутствии стабилизатора напряжение на конденсаторах может достигнуть опасной для них величны. Для этой же цели могут быть использованы контакты, дополнительно присоединенные к электродам в пальчиковом стабилизаторе СГ1П (фиг. 25).



Фиг. 25. Схема включения стабилизатора СГ1П с защитой фильтровых конденсаторов.

Следует также иметь в виду, что газовым стабилизатором может служить почти любая неоновая лампа с отключенным ограничительным сопротивлением, обычно смонтированным в цоколе.

Пригодность лампы для работы в качестве стабилизатора определяется ее вольтамперной характеристикой.

Предполагая использовать какую-либо неоновую лампу, рекомендуется до снятия ее характеристики произвести формовку электродов, включив лампу на 40—80 час. от источника постоянного тока и в дальнейшем соблюдать эту полярность включения.

Таблица основных данных стабилизаторов

Тип стабилизатора	Число газовых промежутков	Рабочее напряжение промежутка, *в*	Максимальное напряжение зажигания промежутка, *в*	Минимальный рабочий ток, *ма*	Максимальный рабочий ток, *ма*	Максимально допустимый ток, *ма*	Изменение напряжения при изменении тока от $I_{мин}$ до $I_{макс}$, *в*	Внутреннее сопротивление промежутка, *ом*	Диаметр стабилизатора, *мм*	Высота стабилизатора (без штырьков), *мм*	Тип цоколя*
СГ2С (75С5-30, VR-75)	1	75	105	5	30	40	4,5	180	32	75	1
СГ3С (105С5-30, VR-105)	1	105	127	5	30	40	2	80	32	75	1
СГ4С (150С5-30, VR-150)	1	150	180	5	30	40	4	160	32	75	1
СГ1П (0А2)	1	150	180	5	30	—	4	160	23	62	11
STV-70/6	1	70	85	0,5	6	—	1,8	325	16	49	8
STV-75/15/II	1	75	100	5	15	20	3	300	28	75	8
STV-75/15	1	75	100	5	15	20	3	300	28	75	9
STV-150/20	2	75	75	5	20	—	3	200	30	65	5
STV-150/200	2	70	100	10	200	—	10	52	60	265	2
STV-280/40	4	70	100	8	40	—	8	260	50	130	2
STV-280/80	4	70	100	10	80	—	8	115	65	135	2
4317	1	105	130	10	30	40	—	200	60	103	3
4357	1	90	115	10	30	—	—	200	60	103	3
4376 Ed	1	90	115	10	30	—	—	200	60	112	10
4376 S	1	90	115	10	30	—	—	200	60	108	10
4377 Ed	1	105	130	10	30	—	—	200	60	112	10
4377 S	1	105	130	10	30	—	—	200	60	108	10
4687	1	90	115	10	30	40	—	250	28	93	6
4496	1	105	130	10	30	40	—	250	28	93	4
7475	1	100	135	1	4	8	—	300	28	60	4
13201 Ed, 13201 A	1	100	135	5	100	200	—	80	54	144	10,4

* Схемы цоколевки стабилизаторов приведены на 2-й полосе обложки.

Цена 80 коп.